

CÁLCULO DE LA FIJACIÓN NETA DE CARBONO EN LAS PLANTACIONES DE CÍTRICOS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

La huella de carbono de las plantaciones de cítricos

Nuestro país –y dentro de éste la Comunidad Valenciana– constituye una potencia citrícola de primer orden, siendo responsable de más de la mitad de la producción de la Unión Europea, de modo que dentro de las estrategias europeas que actualmente se encuentran en marcha y de las cuáles el Centro de Citricultura y Producción Vegetal del IVIA es pionero, el estudio del potencial de los cí-

tricos para la mitigación del cambio climático se ha convertido en una prioridad. El trabajo que nuestro grupo de investigación viene desarrollando en los últimos años, parte de cuyas conclusiones más relevantes se presentan en el presente artículo, está proporcionando una nueva y particular visión acerca del papel del cultivo de los cítricos en la mitigación del cambio climático.



Detalle de una plantación adulta de cítricos en plena producción. Las parcelas de cítricos son responsables de la fijación neta anual de una cantidad muy elevada de CO₂, lo que confiere a este cultivo un gran potencial para la mitigación del cambio climático.

D. J. Iglesias, A. Quiñones,
B. Martínez-Alcántara, F. Legaz,
M. A. Forner-Giner, E. Primo-Millo.

Centro de Citricultura y Producción Vegetal. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Moncada (Valencia).

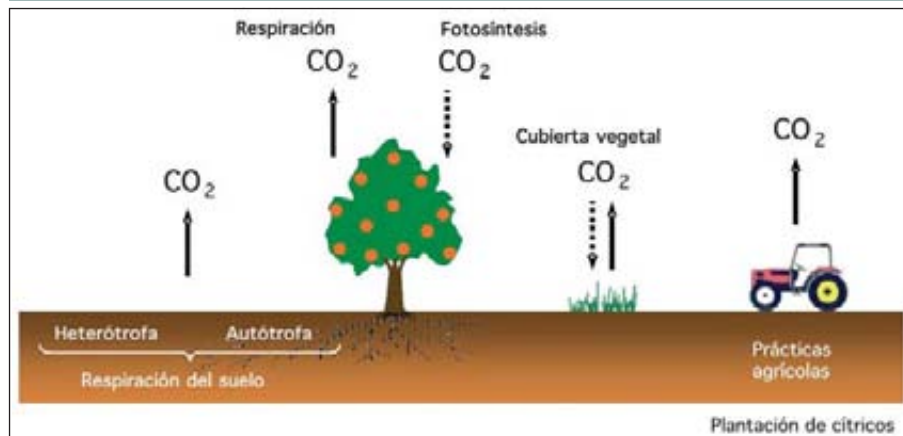
En las últimas décadas numerosos estudios han advertido acerca de las consecuencias del cambio climático en los diferentes sectores productivos. Como consecuencia, cada vez son más las ini-

ciativas destinadas a reducir o mitigar los efectos negativos del incremento progresivo de la concentración de CO₂ en la atmósfera, en un contexto de uso responsable y eficiente de los recursos. En este sentido, la huella del carbono se configura como uno de los indicadores mundialmente reconocidos para medir la capacidad de captura o liberación de carbono de cualquier actividad humana –incluidas las agrícolas– y de hecho, como norma general, la medida de la huella del carbono de una determinada actividad se refiere a la cantidad total de gases de efecto invernadero emitida expresada como kilogramos o toneladas de CO₂.

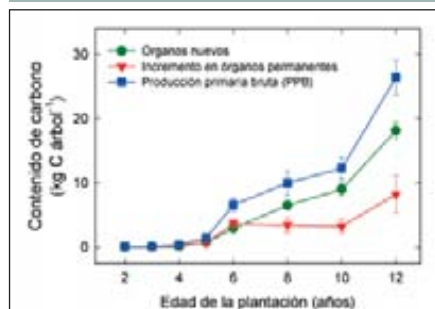
Pues bien, en contraposición a las actividades industriales y urbanas, que causan la mayor parte de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, las plantas tienen la capacidad de absorber este gas del aire de una manera muy efectiva, y en particular, los cultivos leñosos de hoja perenne –como es el caso de los cítricos– son especialmente interesantes, ya que presentan una actividad fotosintética importante que se mantiene a lo largo del año. En la **figura 1** se exponen de un modo simplificado los componentes que integran el balance de carbono en una plantación modelo de cítricos. Las dos vías principales de fijación de CO₂ son las masas foliares del arbolado y la cubierta vegetal herbácea. En contrapartida, las plantaciones agrícolas producen emisiones de CO₂ a la atmósfera, debidas a la respiración de las plantas (respiración autótrofa)

FIGURA 1.

Componentes que integran el balance del carbono en un ecosistema agrícola.

**FIGURA 2.**

Evolución del contenido de carbono en los órganos nuevos y del incremento del mismo en órganos permanentes en función de la edad de la plantación.



La suma de ambos valores para cada edad constituye la producción primaria bruta de la misma.

y microorganismos del suelo (respiración heterótrofa). También es importante considerar el CO₂ desprendido por el consumo de combustible de la maquinaria empleada en las labores agrícolas. Con todo ello, el cálculo de la huella del carbono en una plantación agrícola se deriva de la estimación del intercambio neto de CO₂ entre la atmósfera y el agroecosistema, balance que determina el potencial de acumulación/ liberación de CO₂ -y, por tanto, de carbono- del cultivo.

Fijación del carbono en forma de biomasa

La producción primaria constituye una estimación de la cantidad de carbono fijada en el

arbolado. Los resultados que presentamos en el presente trabajo proceden del arranque de árboles completos de diferentes edades, seleccionados por presentar un tamaño y producción medios, cuyos órganos fueron separados y pesados convenientemente. La cantidad de biomasa desarrollada en un ciclo de cultivo se obtuvo pesando los distintos órganos nuevos (hojas, tallos de brotes, flores, frutos y raíces fibrosas) y estimando, además, el incremento de biomasa de los órganos que permanecen desde años anteriores (raíces gruesas, tronco y ramas). Las concentraciones de carbono en los distintos órganos fueron calculadas en cada caso, oscilando entre un 38 y un 45%.

El **cuadro 1** muestra el contenido de carbono presente en los distintos órganos de árboles de cítricos de diferentes edades. También se incluyen los datos correspondientes a órganos caídos (hojas viejas, pétalos, ovarios, frutos, etc.) y restos de poda.

Los datos revelan un incremento progresivo de la proporción de carbono contenido en los frutos sobre el total conforme avanza la edad de la plantación, paralelo a una disminución en los órganos vegetativos jóvenes (hojas y tallos de los brotes nuevos) y en las raíces (gruesas y fibrosas). En el tronco y en las ramas los valores permanecen bastante constantes.

En la **figura 2** se muestra la evolución del contenido de carbono en los órganos nuevos (hojas, tallos de brotes, flores, frutos y raíces fibrosas) en función de la edad del árbol, así como del incremento de este elemento en los órganos permanentes (tronco, ramas y raíces gruesas) debido al crecimiento anual de los mismos.

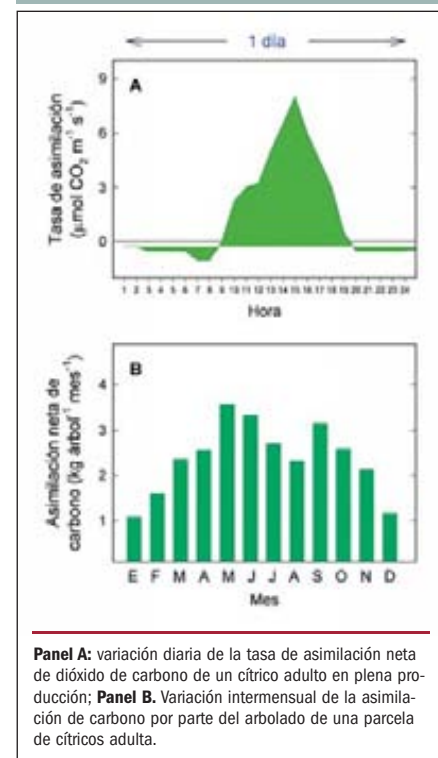
Para cada edad, la suma de ambos valores representa la cantidad total de carbono fijado en la producción primaria bruta.

Proceso de asimilación de carbono durante el ciclo anual

Las hojas son los principales órganos de las plantas responsables de la transformación del CO₂ atmosférico en fotoasimilados. El balance entre su actividad fotosintética y su respiración (asimilación y emisión de CO₂, respectivamente) constituye una estimación muy fiable de la capacidad de fijación de carbono por parte de la planta. La **figura 3a** muestra la evolución, durante una jornada diaria completa, de las tasas de fotosíntesis y respiración foliar de un cítrico adulto que se encuentra en plena producción. Durante las horas de luz es característico el predominio de la actividad fotosintética sobre la respiración basal, de modo que la asimilación neta es positiva; sin embargo, en condiciones

FIGURA 3.

Evolución temporal de la tasa neta de asimilación de CO₂, responsable de la acumulación de carbono en forma de biomasa.



Panel A: Variación diaria de la tasa de asimilación neta de dióxido de carbono de un cítrico adulto en plena producción; **Panel B:** Variación intermensual de la asimilación de carbono por parte del arbolado de una parcela de cítricos adulta.

CUADRO I.

Contenido de carbono (g) de órganos procedentes de árboles de cítricos de diferentes edades ($n \geq 12$, se muestra el valor de la media \pm error estándar).

Fracción / Edad del árbol (años)	2	3	4	5	6	8	10	12
Órganos reproductivos caídos ²				52,6 \pm 5,0	75,3 \pm 9,7	169,4 \pm 9,9	283,5 \pm 18,9	429,4 \pm 27,7
Frutos caídos				32,6 \pm 2,5	72,7 \pm 18,8	281,6 \pm 12,3	551,8 \pm 60,51	717,9 \pm 43,3
Frutos				215,2 \pm 21,9	1.103,3 \pm 36,7	3.497,4 \pm 293,8	5.248,1 \pm 294,6	10.288,0 \pm 338,0
Hojas nuevas	21,7 \pm 2,2	37,2 \pm 1,4	71,0 \pm 10,5	224,3 \pm 7,2	966,1 \pm 80,5	1.347,3 \pm 55,5	1.457,2 \pm 101,4	4.441,7 \pm 262,3
Ramas nuevas	6,1 \pm 0,7	7,7 \pm 0,5	15,6 \pm 3,7	67,2 \pm 3,4	202,1 \pm 26,4	275,3 \pm 10,8	315,3 \pm 35,4	780,2 \pm 108,3
Hojas viejas caídas	0,5 \pm 0,0	0,7 \pm 0,1	2,6 \pm 0,6	15,5 \pm 1,1	94,7 \pm 35,8	125,6 \pm 2,6	680,2 \pm 19,8	1.313,9 \pm 48,2
Hojas viejas	3,7 \pm 0,3	6,6 \pm 0,7	41,2 \pm 5,9	104,8 \pm 4,3	271,2 \pm 17,3	1.285,8 \pm 44,5	1.967,1 \pm 28,2	3.648,0 \pm 106,4
Ramas	5,3 \pm 0,3	26,7 \pm 1,5	46,8 \pm 4,7	270,6 \pm 9,1	1.955,5 \pm 64,6	3.887,6 \pm 106,5	5.930,5 \pm 358,6	13.509,4 \pm 201,9
Tronco	49,9 \pm 2,3	47,3 \pm 2,1	88,0 \pm 4,3	160,5 \pm 4,6	352,7 \pm 18,7	1.014,7 \pm 55,6	2.715,2 \pm 24,4	6.198,7 \pm 184,8
Raíz gruesa	38,8 \pm 2,1	49,0 \pm 2,5	171,7 \pm 8,8	432,5 \pm 10,7	1.578,3 \pm 52,2	4.036,3 \pm 150,8	4.371,3 \pm 40,79	7.344,5 \pm 66,8
Raíz fina	10,2 \pm 1,1	27,9 \pm 1,8	47,5 \pm 8,57	177,3 \pm 5,2	510,2 \pm 42,0	967,26 \pm 33,1	1.171,5 \pm 26,2	1.530,3 \pm 194,8
Restos de poda	15,2 \pm 0,7	17,9 \pm 0,9	68,4 \pm 4,1	150,7 \pm 10,2	563,8 \pm 69,7	1.359,5 \pm 120,3	2.596,2 \pm 182,4	2.723,5 \pm 208,6
Total árbol (g C)	151,4\pm7,9	221,0\pm9,3	552,8\pm19,5	1.903,6\pm98,0	7.017,9\pm125,6	18.247,7\pm223,5	27.287,9\pm769,1	52.925,5\pm1.259,6

1: Cada valor es una media de 12 árboles \pm error estándar.

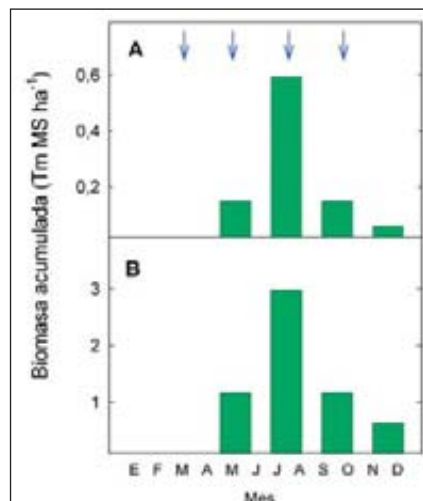
2: Órganos reproductivos caídos: pétalos, ovarios y cálices.

3: Fijación de carbono por m² y año en plantas cultivadas en un marco de 6 x 4 m

de oscuridad, la respiración constituye el proceso de intercambio gaseoso predominante, conduciendo a una asimilación neta de CO₂ negativa.

FIGURA 4.

Dinámica anual del desarrollo de la cubierta vegetal, expresado en forma de biomasa, como respuesta a las variables ambientales y a cuatro tratamientos herbicidas sobre una parcela modelo sometida a riego localizado (panel A) y otra sometida a riego por inundación (panel B).



Las flechas indican los momentos del año en que se realizaron los tratamientos.

va. De acuerdo con los datos mostrados, la asimilación neta diaria de CO₂ por parte de la totalidad de hojas de un cítrico adulto es del orden de 550 g de CO₂, equivalente aproximadamente a 150 g de carbono.

Por su parte, la **figura 3b** muestra la dinámica intermensual de la asimilación de CO₂ para un cítrico adulto. Los valores máximos se registraron durante las estaciones de primavera y oto-

ño, mientras que los mínimos se obtuvieron en los meses invernales. La asimilación total anual de CO₂ anual por árbol rindió unos valores cercanos a los 105 kg que, en términos de cantidad de carbono, resultaron del orden de 28,5 kg.

Sin embargo, tal y como se ha comentado anteriormente, para determinar la asimilación neta real de CO₂ en el conjunto del árbol hay



Cítrico adulto cargado de fruta. El balance entre la asimilación y liberación de CO₂ por parte de sus distintos órganos constituye un factor muy importante en la determinación de su huella de carbono.

que sustraer a este valor la pérdida de CO₂ debida a la respiración basal del resto de sus órganos, tanto vegetativos (ramas, tronco y raíces) como reproductivos (flores, ovarios y frutos en diferentes estados de desarrollo). Una de las emisiones más relevantes es la generada por los órganos fructíferos, superior a los 2 kg de carbono por árbol y año. En menor medida, la cantidad total de CO₂ resultado de la respiración de ramas, tronco y raíces de una planta adulta resulta inferior a 1 kg de carbono al año.

Papel de la cubierta vegetal

La cantidad de biomasa de tipo herbáceo presente en una plantación de cítricos es muy variable, dependiendo en gran parte de las condiciones climáticas y de la modalidad de cultivo, de modo que para el cálculo de la huella de carbono de una plantación es indispensable cuantificar la fijación de este elemento en la cubierta vegetal. Tradicionalmente, las prácticas culturales de laboreo del suelo y los tratamientos con

herbicidas han sido empleados para regular las poblaciones que la componen. Así, el tipo de riego empleado (localizado o superficial) influye notablemente en el desarrollo de la cubierta vegetal, de manera que en las plantaciones regadas por goteo la incidencia de malas hierbas suele ser baja, mientras que aquéllas regadas por inundación suelen mantener una mayor densidad de vegetación. En estas últimas, el control de las malas hierbas suele efectuarse combinando la aplicación de herbicidas con las labores mecánicas mientras que, en las parcelas regadas por goteo, suelen emplearse herbicidas (residuales o de contacto) varias veces al año. La **figura 4** muestra la dinámica anual del desarrollo de la cubierta vegetal en una parcela modelo sometida a riego localizado y otra sometida a riego por inundación, considerando el efecto de la aplicación de cuatro tratamientos con herbicidas (mecánicos o de contacto, no persistentes) con una frecuencia bimensual a partir de primavera.

La cantidad de biomasa producida anualmente por la cubierta vegetal resultó en aproxi-

madamente 5,8 t MS ha⁻¹ para el caso de las parcelas sometidas a riego por inundación y 0,9 t MS ha⁻¹ para aquéllas regadas por goteo. Es interesante destacar que, independientemente del tipo de riego, el período más intenso de acumulación de biomasa de malas hierbas coincide con los meses centrales del año.

Dinámica del carbono en el suelo

El carbono orgánico del suelo constituye una de las principales reservas de este elemento en la naturaleza y representa tanto una fuente como un sumidero para el CO₂ atmosférico. Determinadas prácticas agrícolas, principalmente el laboreo del suelo, el riego, la fertilización, la poda o la intensificación del cultivo, influyen considerablemente en los procesos que conducen al almacenamiento de carbono en el suelo. Así, es bien conocido que el laboreo del suelo reduce la cantidad de carbono orgánico almacenado –debido a que favorece la descomposición y erosión– mientras que, por el contrario, la ausencia

desde
20.800
Euro

CON EQUIPAMIENTO STANDARD (IVA Y TRANSPORTE NO INCLUIDO)

TGF 7800S

PLUS

BASTIDOR: Actio™ bastidor integral oscilante

MOTOR: 71 CV - Cilindrada 3.300 cm³ - 16 válvulas

PAR: potencia max (Nm/giri) 326/1600

TRANSMISIÓN: Cambio sincronizado de 32 velocidades

TOMA DE FUERZA: trasera, independiente 540/540E

FRENOS: 4 frenos de disco en baño de aceite

ECOLÓGICO: mínima emisión, mínimo consumo

VELOCIDAD: homologada en carretera a 40 km/h

TGF 7800 Serie S es un tractor mono direccional de ruedas desiguales. El nuevo diseño, en línea con el family feeling de los tractores de gama alta de AC, contribuye tanto a la mejora de la estética como al confort operativo. TGF se distingue por tener un centro de gravedad bajo, que le confiere estabilidad y seguridad en pendientes y en terrenos escabrosos.

PARA MAYOR INFORMACIÓN
Red de agentes Antonio Carraro
iberica@antonio carraro.com
Tel: 933 779 957

Promoción válida hasta el 30/07/2012 o fin de existencias para los concesionarios adheridos a la promoción.



Nº1 of compact tractors



Hojas en desarrollo de un cítrico adulto. Una vez desarrolladas, son los órganos principales encargados de la asimilación de CO_2 , por tanto, de la fijación de carbono.

de laboreo promueve la estabilidad de los agregados en el suelo, reduciendo la degradación de la materia orgánica y disminuyendo la intensidad de los procesos erosivos. Por otra parte, la intensificación del cultivo y el tipo de riego pueden influir en los niveles de almacenamiento, al aumentar la productividad y, en consecuencia, la cantidad de residuos vegetales que se incorporan a la materia orgánica del suelo. En el caso de las plantaciones frutales, además, los restos de la poda ejercen un papel muy relevante, siempre y cuando no sean incinerados en el propio campo. Por último, parece evidente que la

incorporación al suelo de las malas hierbas o las enmiendas orgánicas aumentan directamente el carbono orgánico del suelo.

En la **figura 5** se muestra la evolución de la caída al suelo de los distintos órganos de plantas de cítricos adultos. Las hojas viejas caídas constituyen una de las principales incorporaciones de materia orgánica al suelo, que se produce de forma bastante uniforme a lo largo de todo el año, aunque con un ligero máximo en primavera. Por su parte, los órganos fructíferos desprendidos (flores, pétalos, ovarios y frutos en distintos estados de desarrollo), también supo-

nen un aporte considerable de materia orgánica al suelo, si bien concentrado durante el período de floración y cuajado del fruto (abril-junio) y con un máximo acusado en el mes de mayo. Otras aportaciones importantes de materia orgánica al suelo son las debidas a los restos de la poda y a las malas hierbas muertas, tal y como se ha comentado en apartados anteriores. A los abonos y enmiendas orgánicas se les presta una menor consideración al haberse reducido su utilización como consecuencia del uso generalizado de la fertirrigación.

En su conjunto, el suelo de una plantación adulta de cítricos puede incorporar anualmente entre 2,5 y 5,0 t C ha⁻¹. Cabe destacar que estos restos orgánicos sufren un proceso de descomposición en el suelo, liberando una parte de su carbono en forma de CO_2 , mientras que otra parte –que se encuentra en los materiales más resistentes a la degradación– pasa a formar parte del humus. El estudio preliminar de la dinámica de la descomposición de los restos vegetales en plantaciones típicas de cítricos ha revelado que alrededor del 40% del carbono procedente de los restos orgánicos que se incorporan al suelo permanecieron en el mismo después de un año.

Por otra parte, la respiración del suelo constituye una de las principales vías de aporte de CO_2 a la atmósfera en la mayoría de los ecosistemas terrestres, incluyendo los agrícolas, y es resultado de las respiraciones autótrofa (debida a las raíces de las plantas) y heterótrofa (proveniente de los microorganismos que utilizan la materia orgánica del suelo). Generalmente, este parámetro exhibe una amplia variabilidad, tanto a escala temporal como espacial, debido en buena parte a las diferencias de composición y condiciones climáticas (fundamentalmente temperatura y humedad). Evidentemente, la densidad de la cubierta vegetal espontánea y los tratamientos destinados a su control son factores que afectan, en mayor o menor medida, a la respiración del suelo.

La **figura 6** muestra la evolución a lo largo del año de la respiración del suelo en una parcela regada por goteo (prácticamente sin malas hierbas) y en otra regada por inundación (con cubierta vegetal parcial). El cálculo de la respiración anual total del suelo mostró valores comprendidos entre 0,43 kg C m⁻² para el caso de las parcelas sometidas a riego localizado –con una cubierta vegetal reducida–, y 0,70 kg C m⁻² para el caso de parcelas regadas por goteo.

FIGURA 5.

Evolución de la caída de órganos, en forma de biomasa, de plantas de cítricos adultos en una parcela modelo de cítricos.

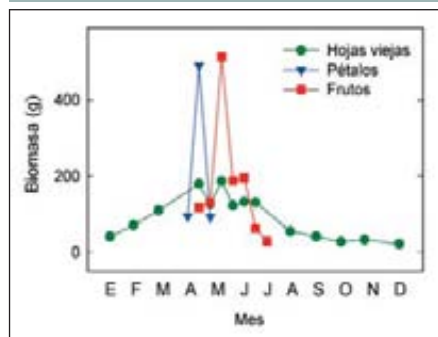
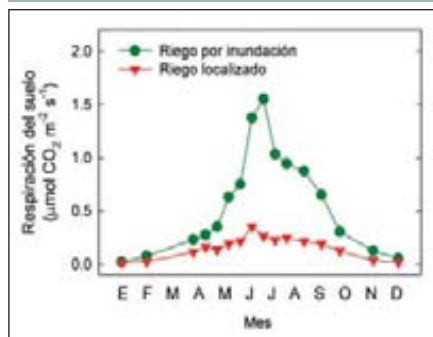


FIGURA 6.

Evolución anual de la respiración del suelo en una parcela de cítricos sometida a riego localizado y otra por inundación.



CUADRO II.

Producción de CO₂ generado durante un ciclo anual por las plantaciones de cítricos adultos de la Comunidad Valenciana.

Tipo de plantación	Superficie cultivada (has)	BCO ₂ (t CO ₂ ha ⁻¹ año ⁻¹)	Fijación total de CO ₂ (t CO ₂ año ⁻¹)
PA, DN, RI	28.152	6,15	173.135
PA, DN, RL	35.875	8,77	314.624
PA, DI	66.207	5,69	376.718
Total: 864.477			
PA: plantación adulta. DN: densidad de cultivo normal. DI: densidad de cultivo intensiva (> 600 árboles ha ⁻¹)			
RI: riego por inundación. RL: riego localizado			
BCO ₂ : balance del CO ₂ en la plantación			
Se han considerado sus diferentes condiciones de cultivo y de acuerdo con los datos de superficie real cultivada procedentes del SIG-citricola. Las plantaciones jóvenes mostraron un balance neto nulo, por lo que no se tuvieron en cuenta en el cómputo total.			

Cálculo de la fijación neta de carbono

El balance de carbono de una plantación de cítricos es resultado de la compleja e intrincada red de interacciones que se han descrito con detalle en cada una de las secciones anteriores. Su cálculo matemático es complejo, siendo el dato de partida la producción primaria bruta de carbono generada por parte tanto del arbolado como de la cubierta vegetal en caso de que exista. A la producción primaria bruta se le adicionan y/o sustraen los distintos componentes que darán lugar al balance final de carbono de la plantación y que representa la fijación neta de una determinada cantidad de CO₂ procedente

de la atmósfera. Así, un valor positivo de este parámetro es reflejo de un secuestro neto de carbono, lo que convierte a la parcela en un sumidero de carbono mientras que, por el contrario, si el valor final es negativo indica que ésta se constituye como una fuente de carbono. Es interesante destacar que en el presente estudio hemos asumido que la totalidad de la cosecha es objeto de consumo humano o animal, de manera que el carbono contenido en la fruta revierte –más tarde o más temprano– a la atmósfera en forma de CO₂ respirado. La fijación neta real de carbono resulta, pues, de sustraer a la fijación neta de este elemento en la plantación la cantidad de carbono fijada en los frutos. En nuestro estudio distinguimos, además, distintas edades de la parcela y distintas condiciones de cultivo, y

también consideramos las emisiones de CO₂ generadas por el uso de maquinaria agrícola. Como resultado de nuestros cálculos, el balance final resultó en unas cantidades CO₂ fijadas anualmente comprendidas entre 5,69 y 8,77 t ha⁻¹ en parcelas adultas en plena producción, mientras que en las plantaciones jóvenes los valores netos fueron prácticamente nulos (**cuadro II**).

De acuerdo con los datos del Sistema de Información Geográfica - Citricola (SIG citricola), en el **cuadro II** se muestra la producción total anual de CO₂ generada por las plantaciones de cítricos adultos de la Comunidad Valenciana en base a su superficie real cultivada.

Tal y como se observa en el **cuadro II** y en una primera aproximación, el conjunto de las plantaciones de cítricos de la Comunidad Valenciana es responsable de una fijación neta anual de aproximadamente 865.000 t de CO₂.

Conclusión

Los datos mostrados en el presente estudio muestran que las plantaciones de cítricos de la Comunidad Valenciana son responsables de una fijación neta anual de CO₂ de entre 800.000 y 900.000 t, una cifra nada despreciable desde la perspectiva de la capacidad de mitigación del cambio climático. Tal y como se ha comentado anteriormente, en el cálculo del balance final se ha excluido el carbono contenido en la cosecha y se han considerado las emisiones debidas al empleo de maquinaria agrícola. En un contexto de cambios ambientales adversos cada vez más acusados, cualquier actividad humana que favorezca la fijación de carbono –minimizando pues la acumulación de CO₂ en la atmósfera y, por consiguiente, el efecto invernadero derivado– es muy deseable. De acuerdo con los datos presentados, el potencial que representa el cultivo de los cítricos en este sentido es muy promotor, lo cual sin duda redundará en una mejora de la sostenibilidad, productividad y competitividad de nuestra citricultura en los mercados nacionales e internacionales. ●

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por la Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana y también por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA, proyecto RTA2011-00114-00-00).

NOTA: Este artículo ha sido publicado íntegro en el Levante Agrícola (3er trimestre 2011, pp 204-215).



Cítrico adulto en fase de caída de pétalos. Durante el ciclo anual son numerosos los órganos que se desprenden del árbol (hojas, órganos fructíferos, restos de poda, etc.), representando, en ocasiones, un aporte considerable de carbono al suelo.